

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-089489

(43)Date of publication of application : 27.03.2002

(51)Int.Cl. F04D 29/04
F04D 17/04
F16C 32/04

(21)Application number : 2000-283488

(71)Applicant : NTN CORP

(22)Date of filing : 19.09.2000

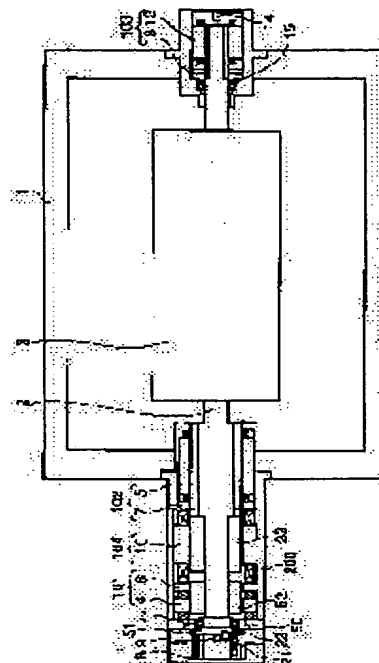
(72)Inventor : OZAKI TAKAMI
YADA YUJI
TOKUNAGA HIROAKI
YAMADA KOSHI

(54) STRUCTURE OF ONCE-THROUGH FAN FOR EXCIMER LASER DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a structure of a once-through fan for an excimer laser device capable of securing control stability of magnetic bearing control.

SOLUTION: In this structure, both ends of a rotary shaft 2 are disposed with first and second radial magnetic bearings 101, 103, first and second protection bearings 11, 15 are disposed near the radial magnetic bearings 101, 103, and a third radial magnetic bearing 102 is disposed on a fan side near a motor 104. The third radial magnetic bearing 102 corrects a negative spring element of the motor 104.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-89489
(P2002-89489A)

(43) 公開日 平成14年3月27日 (2002.3.27)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
F 0 4 D 29/04		F 0 4 D 29/04	N 3 H 0 2 2
	17/04		G 3 H 0 3 1
F 1 6 C 32/04		F 1 6 C 32/04	A 3 J 1 0 2

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-283488 (P2000-283488)

(22) 出願日 平成12年9月19日 (2000.9.19)

(71) 出願人 000102692

エヌティエヌ株式会社

大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号

(72) 発明者 尾崎 孝美

静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエヌ株式会社内

(72) 発明者 矢田 雄司

静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエヌ株式会社内

(74) 代理人 100064746

弁理士 深見 久郎 (外3名)

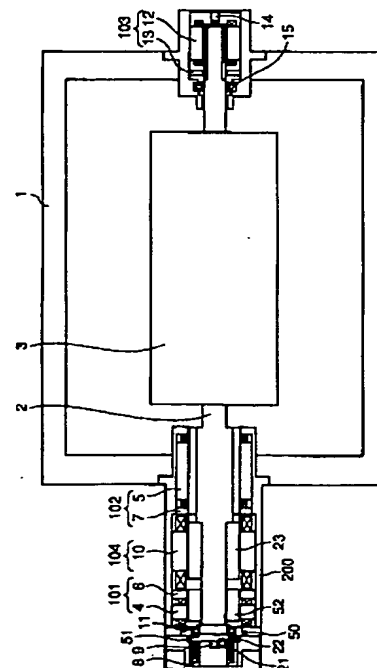
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エキシマレーザ装置用貫流ファンの構造

(57) 【要約】

【課題】 磁気軸受制御の制御安定性の確保が可能なエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造を提供する。

【解決手段】 回転軸2の両端に第1および第2のラジアル磁気軸受101と103を配置し、これらの近傍に第1および第2の保護軸受11、15を配置し、さらにモータ104の近傍のファン3側に第3のラジアル磁気軸受102を配置し、第3のラジアル磁気軸受102によってモータ104のもつ負のばね要素を補正する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ファンがとりつけられた回転軸と、前記回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、前記制御型磁気軸受が前記回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、前記回転軸を回転させるためのモータを備え、前記モータの駆動によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、

前記制御型磁気軸受は、

軸方向の3箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、

1個のアキシャル電磁石と、少なくとも1個の永久磁石とを含むアキシャル磁気軸受とを含み、

前記アキシャル電磁石は前記回転軸の一方端面に対向して配置され、前記永久磁石は前記回転軸の他方端面に対向して配置され、

前記ラジアル磁気軸受のうちの第1のラジアル磁気軸受は前記アキシャル電磁石の近傍に配置され、第2のラジアル磁気軸受は前記回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置され、第3のラジアル磁気軸受は前記モータと前記ファンとの間に配置することを特徴とする、エキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項2】 前記保護軸受は、

前記回転軸のアキシャル方向とラジアル方向の両方向を支持し、前記アキシャル電磁石と前記モータの近傍に配置される第1の保護軸受と、

前記回転軸のラジアル方向のみを支持し、前記他方のラジアル電磁石の近傍に配置される第2の保護軸受とを含むことを特徴とする、請求項1に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項3】 さらに、前記第3のラジアル磁気軸受と前記ファンとの間に配置され、ラジアル方向のみ支持できる第3の保護軸受を含むことを特徴とする、請求項2に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項4】 前記回転軸の前記ラジアル電磁石と前記アキシャル電磁石と前記永久磁石に対向する部分には軟質磁性材料が設けられていて、

前記アキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料は前記回転軸に固着され、

前記軟質磁性材料を除き、前記回転軸は前記アキシャル電磁石側から前記永久磁石側に向けて、その直径が等しいかまたは小さくされていて、前記アキシャル電磁石および前記第1の保護軸受または前記第1の保護軸受を固定している保護軸受用ハウジングをハウジングから外し、さらにアキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料、ステータおよび前記ファンを前記回転軸から外すことにより、チャンバからハウジングを外さない状態で前記回転軸を前記チャンバおよびハウジング外部に取

り外すことができることを特徴とする、請求項1または3に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項5】 前記ラジアル電磁石は円周方向に8極の磁極を有し、近接する2極の磁極によって回転軸に電磁力を発生させるか、または円周方向に4極の磁極と軸方向に各2極の磁極をもたせ軸方向に近接する2つの磁極のセットで前記回転軸に電磁力を作用させかつ各ラジアル磁気軸受は2つの制御軸を有し、各制御軸ともに前記回転軸の自重を支持することを特徴とする、請求項1から4のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項6】 前記各ラジアル磁気軸受のラジアル電磁石の制御軸方向は、反鉛直方向を基準に $45^{\circ} \pm 22.5^{\circ}$ 以内であることを特徴とする、請求項1から5のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項7】 前記ラジアル磁気軸受のラジアル電磁石の一部で、前記回転軸の自重を支持しない磁極にはコイルを巻回しないことを特徴とする、請求項5または6に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項8】 前記ラジアル電磁石は円周方向に4極の磁極を有し、近接する2極の磁極によって前記回転軸に電磁力を発生させるか、または円周方向に2極の磁極と軸方向に各2極の磁極をもたせ軸方向に近接する2つの磁極のセットで前記回転軸に電磁力を作用させかつ各磁極の中心はすべて水平面より上方にあることを特徴とする、請求項1から5のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項9】 さらに、比例要素と積分要素と微分要素で構成され、前記第1および第2の保護軸受に近接したラジアル磁気軸受と、前記アキシャル磁気軸受を制御する制御回路と、

比例要素または微分要素で構成され、前記第3のラジアル磁気軸受を制御する制御回路とを含むことを特徴とする、請求項1から8のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項10】 前記磁気軸受の制御はソフトウェア処理によることを特徴とする、請求項1から9のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項11】 前記アキシャル磁気軸受の電磁石に対向する回転軸には切り欠きまたは穴の形成された軟質磁性部材が設けられ、

前記軟質磁性部材に対向する位置に磁気式の回転センサが設けられることを特徴とする、請求項1から10のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項12】 前記回転センサによって得られた回転数に応じて、前記第3のラジアル磁気軸受の制御パラメータを変更することを特徴とする、請求項11に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明はエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造に関し、特に、当該ファン装置における回転軸を支持しかつ回転させる構造に関する。

【0002】

【従来の技術】エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンには、低振動特性および耐久性が要求され、これに対応するために、貫流ファンに使用する軸受には非接触支持でメンテナンスフリーが実現できる磁気軸受が検討されている。

【0003】たとえば、特開平11-087810号公報や特開平11-303793号公報には、磁気軸受の採用例が示されている。これらの公報には、2個のラジアル磁気軸受と2個のアキシャル電磁石からなるアキシャル磁気軸受によって回転軸を非接触で支持し、かつ回転軸に固着したモータロータをステータ側のモータステータによって回転駆動させる構成が示されている。

【0004】図14はエキシマガスを循環させるファンおよびその周辺部の基本構成を示す断面図である。図14において、ファン203はチャンバ201内に配置され、チャンバ201内にはレーザガスが封入されている。チャンバ201内で回転軸202に取付けられたファン203が回転する。回転軸202を支持する磁気軸受は、チャンバ201の両側に配置され、図14の左側には、それぞれラジアル電磁石204と位置センサ205とで構成されるラジアル磁気軸受206と、アキシャル電磁石207、208と位置センサ209で構成されるアキシャル磁気軸受210と、モータロータ218およびモータステータ217で構成されるモータ211と、回転軸202を保護するためにラジアル方向およびアキシャル方向を支持できるタッチダウン軸受としての保護軸受212が配置されている。

【0005】図14の右側には、ラジアル電磁石213および位置センサ214で構成されるラジアル磁気軸受215と、ラジアル方向のみの支持を可能とする保護軸受216とが設けられている。

【0006】ここで、保護軸受212とモータステータ217とラジアル電磁石204の内径はほぼ同軸となるように調整されている。保護軸受212の内径とその対向する回転軸202との隙間は、モータステータ217とラジアル電磁石204の各内径とその対向する回転軸202との隙間の最小寸法よりも僅かに小さく設定され、回転軸202とラジアル電磁石204、モータステータ217との接触を防いでいる。

【0007】アキシャル磁気軸受210およびラジアル磁気軸受206、215はそれぞれ位置センサ209、205および214によって回転軸202の位置を検出し、各位置センサ出力と指令値とを比較演算した信号を、図示しない制御回路で位相補償し、パワーアンプで

電流増幅して対応する電磁石のコイルに電流が流される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】図14に示したエキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンにおいて、貫流させるガスの圧力が最大5000hPaと高い結果、この高出力下でファン203を回転させるために、その回転軸202を駆動させるモータ211の出力を高くする必要がある。ところが、モータ出力が高いために、モータ211を構成しているモータロータ218とモータステータ217間の吸引力が強くなってしまふ。これは、単純にモータロータ218を内蔵する回転軸202に対する外乱が増加するだけでなく、回転軸202を支持するラジアル磁気軸受206の制御安定性にも影響を及ぼす。

【0009】ラジアル磁気軸受の支持は、モータ211の影響しない非回転時とモータの影響が大きい最高回転時の両状態において安定して制御する必要がある。さらに、貫流されるガス圧力も最大5000hPa以下のすべての圧力領域で回転させることが必要となり、磁気軸受制御の安定性の確保が困難であった。

【0010】図15はラジアル磁気軸受部付近の構造を示し、図16は図15のラジアル磁気軸受に基づくモータの影響を説明するための磁気軸受制御系のブロック図を示す。

【0011】図15において、所望のラジアル磁気軸受電磁石204と回転軸202との間の距離を X_0 とし、この距離 X_0 からの変位 x を測定し、その測定値に基づいてラジアル磁気軸受電磁石204の吸引力を調整することで、回転軸202の浮上位置が制御される。ここで、ラジアル磁気軸受206の近傍にはモータ211が配置され、このモータ211によってラジアル磁気軸受206の制御に影響が出る。

【0012】図16において、 $P(s)$ はモータ211を考慮しない磁気軸受単独の制御対象を表わし、 $G(s)$ は磁気軸受制御回路の伝達関数を示す、 x は回転軸の所定の浮上距離 X_0 位置からの変位を示している。回転軸の変位 x を検出する位置センサの出力 x' と指令値 r とを比較演算した後、比例、積分および微分要素からなる制御回路で構成される磁気軸受制御回路 $G(s)$ で演算された電磁力 F_a が回転軸202に作用し、回転軸202を所定の位置に支持する。ここで、 k_m はモータ211の持つ負のばね定数である。

【0013】図15において、回転軸202が下方に移動すれば、下方のモータステータ217からの吸引力 F_m が増加し、見かけ上負のばね定数となる。 k_m の値はモータ211の出力が増加する点すなわちモータロータ218とモータステータ217との間の吸引力が増加するに従って大きな値となる。すなわち、磁気軸受の制御は、この k_m を考慮した設計が必要となるが、この k_m

は大きく変動する(回転駆動を停止している状態ではこの k_m は0となる)ため、すべての状態で磁気軸受支持の安定性を確保することが難しくなる。

【0014】図17はモータ駆動時と非モータ駆動時の磁気軸受の制御対象(図16ではF aからxまでの伝達関数)のボード線図のゲイン曲線を示す。図17において、実線aはモータ非回転時のゲイン曲線であり、実線bはモータ駆動時のゲイン曲線を示す。モータ駆動時のそのゲイン曲線は低周波数域で低下していることがわかる。これらの、低周波数域でのゲインの低下や、低周波数域の広い領域でゲイン曲線に平坦な特性(ゲインの周波数勾配がほぼ0)を持つために、磁気軸受の制御性は悪くなる。

【0015】図18は磁気軸受の制御対象をもとに、両状態(モータ駆動時と非駆動時)で安定性を確保する磁気軸受制御回路を設計した場合の開ループ伝達関数を示す図であり、(a)ゲイン特性を示し、(b)は位相特性を示す。

【0016】図18(a)において、実線cはモータ非駆動時で、実線dはモータ駆動時の開ループ伝達関数である。モータ211を駆動することで図18(a)に示すゲイン余裕はAからA'に減少し、制御の安定性についての余裕が大幅に減少することがわかる。これに対する対策としては、クロスオーバー周波数を高周波側に設定し、モータの影響を抑制する方法もあるが、エキシマレーザ装置では、レーザ発振のために高電圧によって放電させ、レーザガスを励起させる。このため、エキシマレーザ装置に使用する磁気軸受では、この高周波ノイズに影響されないようにするため、極力磁気軸受の制御ゲインを下げる必要がある。

【0017】また、使用するファン203は軸方向に長く、回転軸202自体が長くなる結果、回転軸202の曲げモード固有振動数が低下するという問題もあり、これを安定して制御するためにも磁気軸受制御系のゲインを下げる必要がある。これらの理由により、高周波域のゲインを上げることになるクロスオーバー周波数を高周波側に設定するといった手法はとることができない。

【0018】このように、エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンは、貫流させるガス圧力が最大5000hPaであるように高く、この高出力側でファン203を回すためにその回転軸202を駆動させるモータ211の出力は高くなる結果、負のばね定数である k_m が大きくなること、さらに高周波ノイズ発生源が近傍にあること、さらに回転軸202が長くなるために磁気軸受制御の制御安定性の確保が難しくなるというエキシマレーザ装置固有の問題があった。

【0019】また、回転軸202が長尺のために、回転軸202の曲げ固有振動数が低くなり、磁気軸受の制御性が悪いこと、さらに回転軸202が曲がりやすいといった問題もある。

【0020】それゆえに、この発明の主たる目的は、モータ駆動時も磁気軸受のゲインを上げずに安定した磁気軸受制御が可能なエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造を提供することである。

【0021】

【課題を解決するための手段】この発明は、ファンが取り付けられた回転軸と、回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、制御型磁気軸受が前記回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、回転軸を回転させるためのモータを備え、モータの回転によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、制御型磁気軸受は、軸方向の3箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、1個のアキシャル電磁石と、少なくとも1個の永久磁石とを含むアキシャル磁気軸受とを含み、アキシャル電磁石は回転軸の一方端面に対向して配置され、永久磁石は回転軸の他方端面に対向して配置され、ラジアル磁気軸受のうちの第1のラジアル磁気軸受はアキシャル電磁石の近傍に配置され、第2のラジアル磁気軸受は回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置され、第3のラジアル磁気軸受はモータとファンとの間に配置することを特徴とする。

【0022】また、保護軸受は回転軸のアキシャル方向とラジアル方向の両方向を支持し、アキシャル電磁石とモータの近傍に配置される第1の保護軸受と、回転軸のラジアル方向のみを支持し、他方のラジアル電磁石の近傍に配置される第2の保護軸受とを含むことを特徴とする。

【0023】さらに、第3のラジアル磁気軸受とファンとの間に配置され、ラジアル方向のみ支持できる第3の保護軸受を含むことを特徴とする。

【0024】さらに、回転軸のラジアル電磁石とアキシャル電磁石と永久電磁石に対向する部分には軟質磁性材料が設けられていて、アキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料は回転軸に固着され、軟質磁性材料を除き、回転軸はアキシャル電磁石側から永久磁石側に向けて、その直径が等しいかまたは小さくされていて、アキシャル電磁石および第1の保護軸受または第1の保護軸受を固定している保護軸受用ハウジングをハウジングから外し、さらにアキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料、ステータおよびファンを回転軸から外すことにより、チャンバからハウジングを外さない状態で回転軸を前記チャンバおよびハウジング外部に取り外すことができることを特徴とする。

【0025】さらに、ラジアル電磁石は円周方向に8極の磁極を有し、近接する2極の磁極によって回転軸に電磁力を発生させるか、または円周方向に4極の磁極と軸方向に各2極の磁極をもたせ軸方向に近接する2つの磁

極のセットで回転軸に電磁力を作用させかつ各ラジアル磁気軸受は2つの制御軸を有し、各制御軸ともに回転軸の自重を支持することを特徴とする。

【0026】さらに、各ラジアル磁気軸受のラジアル電磁石の制御軸方向は、反鉛直方向を基準に $45^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ 以内であることを特徴とする。

【0027】さらに、ラジアル磁気軸受のラジアル電磁石の一部で、回転軸の自重を支持しない磁極にはコイルを巻回さないことを特徴とする。

【0028】さらに、ラジアル電磁石は円周方向に4極の磁極を有し、近接する2極の磁極によって回転軸に電磁力を発生させるか、または円周方向に2極の磁極と軸方向に各2極の磁極をもたせ軸方向に近接する2つの磁極のセットで回転軸に電磁力を作用させかつ各磁極の中心はすべて水平面より上方にあることを特徴とする。

【0029】さらに、比例要素と積分要素と微分要素で構成され、第1および第2の保護軸受に近接したラジアル磁気軸受と、アキシアル磁気軸受を制御する制御回路と、比例要素または微分要素で構成され、第3のラジアル磁気軸受を制御する制御回路とを含むことを特徴とする。

【0030】また、磁気軸受の制御はソフトウェア処理によることを特徴とする。さらに、アキシアル磁気軸受の電磁石に対向する回転軸には切り欠きまたは穴の形成された軟質磁性部材が設けられ、軟質磁性部材に対向する位置に磁気式の回転センサが設けられることを特徴とする。

【0031】さらに、回転センサによって得られた回転数に応じて、第3のラジアル磁気軸受の制御パラメータを変更することを特徴とする。

【0032】

【発明の実施の形態】図1はこの発明の一実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦断面図である。図1において、チャンバ1内にはレーザガスが封入されており、このチャンバ1内で回転軸2に取付けられたファン3が回転する。回転軸2を支持する磁気軸受はチャンバ1の両側に配置される。図1の左側には、2個のラジアル磁気軸受101、102と、アキシアル磁気軸受の一部であるアキシアル電磁石8と位置センサ9とモータ104に含まれるモータステータ10と保護軸受11とが設けられている。ラジアル磁気軸受101はラジアル電磁石4と位置センサ6とで構成され、ラジアル磁気軸受102はラジアル電磁石5と位置センサ7とによって構成される。保護軸受11は回転軸2をラジアル方向およびアキシアル方向に支持し、ラジアル磁気軸受101、102が非作動時もしくは異常時あるいは回転軸2への外乱が大きくラジアル磁気軸受101、102が回転軸2を非接触で支持できない場合に回転軸2を支持する。

【0033】図1の右側にはラジアル電磁石12と位置センサ13で構成される1個のラジアル磁気軸受103

と、アキシアル磁気軸受の一部であるステータ側の永久磁石14と、回転軸側の磁性体で構成した吸引機構およびラジアル方向のみの支持を可能とする保護軸受15が設けられている。

【0034】ここで、保護軸受11とモータステータ10とラジアル電磁石4、5の内径はほぼ同軸となるように調整されている。保護軸受11の内径とその対向する回転軸との隙間は、モータステータ10、ラジアル電磁石4および5の各内径とその対向する回転軸との隙間の最初の寸法よりもわずかに小さく設定され、回転軸2とモータ104および電磁石部材との接触を防いでいる。

【0035】同様に、保護軸受15はラジアル電磁石12の内径とほぼ同軸に調整されている。保護軸受15の内径とその対向する回転軸2との隙間はラジアル電磁石12の内径とその対向する回転軸2との隙間よりもわずかに小さく設定され、回転軸2と電磁石部材との接触を防いでいる。

【0036】なお、図1では、保護軸受を2箇所配置したが、回転軸が長く、長尺であることを考慮し、第3の保護軸受16をその中間部に配置してもよい。そのような実施の形態を図2に示す。

【0037】各磁気軸受部は、各位置センサによって回転軸の位置を検出し、各位置センサ出力と指令値とを比較演算した信号が図示しない制御回路で位相補償された後、パワーアンプで電流増幅され、電磁石のコイルに電流が流されることによって、回転軸2が非接触でラジアル磁気軸受101、102、103およびアキシアル磁気軸受によって軸支される。ここで、モータの負のばね要素の補償用にラジアル磁気軸受102が使用される。ラジアル磁気軸受101と103に使用する制御回路は、比例、微分要素によって構成され、さらに積分要素を含むことによって、指令値と偏差の小さい定位置制御が行われ、回転軸2が支持される。ラジアル磁気軸受102は、その制御回路を比例要素と微分要素のみとし、モータ104の負のばね要素を補償するだけでなく、ラジアル磁気軸受101の制御性を向上させる。

【0038】図3はラジアル磁気軸受101とモータ104とラジアル磁気軸受102の模式図であり、図4はラジアル磁気軸受101、モータ104およびラジアル磁気軸受102を含む回転軸の制御系ブロック図である。図5～図8はラジアル磁気軸受101の制御対象のボード線図である。

【0039】次に、2個のラジアル磁気軸受101、102を設けたことによる効果について説明する。

【0040】図3において、図1に示すようにエキシマレーザ装置のエキシマガス貫流のための回転軸2が長尺のために、回転軸2の剛体モードを考えた場合、回転軸2を検出する位置センサ6の出力 $\times 1$ と位置センサ7の出力 $\times 2$ とはほぼ等しい値を持つ。このことを利用し、図4では回転軸2の変位を x とし、ブロック図を示して

いる。ただし、簡単化のためにセンサアンプは省略されている。

【0041】図4において $P(s)$ はモータ104の影響を受けない場合のラジアル磁気軸受101の制御対象を示し、 $G_1(s)$ はラジアル磁気軸受101の制御回路を示し、 $G_2(s)$ はラジアル磁気軸受102の制御回路を示し、 k_m はモータ10による負のばね定数を示し、 r_1 はラジアル磁気軸受101の指令値であり、 r_2 はラジアル磁気軸受102の指令値を表わす。

【0042】 $G_1(s)$ は比例要素、積分要素および微分要素で構成される。磁気軸受の制御対象 $P(s)$ は、 $1/(Ms^2-k)$ で表わされる。ここで、磁気軸受にも負のばね要素を持ち、 k がこの負のばね定数に相当する。よって、モータ104の影響およびラジアル磁気軸受102の影響を考慮した制御対象、すなわち F_a から x までの伝達関数は $P_1(s) = 1/(Ms^2-k-k_m+G_2(s))$ となる。

【0043】ここで、 $G_2(s)$ を比例要素のみで構成した場合の F_a から x までの伝達関数(ゲイン曲線のみ)を図5に示す。

【0044】図5において、実線aはモータの影響がなく($k_m=0$)、 $G_2(s)=0$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2-k)$)、実線bはモータの影響を含み、 $G_2(s)=0$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2-k-k_m)$)を示し、実線cはモータ104の影響を含みさらに $G_2(s) = (k+k_m)$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/Ms^2$)を示し、実線dはモータ104の影響を含みさらに $G_2(s) = ky$ 、 $0 < ky < (k+k_m)$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2-k-k_m+ky)$)を示し、実線eはモータ104の影響を含みさらに $G_2(s) = ke$ 、 $ke > (k+k_m)$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2-k-k_m+ke)$)を示す。

【0045】図5から、ラジアル磁気軸受102の制御回路を比例要素のみで構成した場合、その比例要素のゲインが0以上、 $(k+k_m)$ 以下にある場合、ラジアル磁気軸受101の制御対象 $P_1(s)$ の低周波域のゲインをアップさせることができる。

【0046】一方、その比例要素のゲインを $(k+k_m)$ 以上にした場合には、ラジアル磁気軸受101の制御対象 $P_1(s)$ にピーク(図5のA)を発生させ、磁気軸受制御性を損なう可能性がある。

【0047】このように、ラジアル磁気軸受102の制御回路は比例要素のみで構成しかつその比例要素のゲインが0以上 $(k+k_m)$ 以下にすることで、ラジアル磁気軸受101の制御対象 $P_1(s)$ も低周波域のゲインをアップさせることができる結果、磁気軸受の安定性を向上させることができる。

【0048】図6は $G_2(s)$ を微分要素のみで構成し

た場合の F_a から x までの伝達関数を示し、(a)はゲイン特性であり、(b)は位相特性である。図6において、実線aはモータの影響を含み、 $G_2(s)=0$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2-k-k_m)$)を示し、モータ104の影響を含みさらに $G_2(s) = cs$ でそれぞれ c の値を大きくした場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2+cs-k-k_m)$)特性を実線b、c、dおよびeに示す。ここで、 c は微分ゲインと称する。

【0049】図6から c が大きくなるほど、ラジアル磁気軸受101の制御対象 $P_1(s)$ の低周波領域でのゲイン平坦部の勾配が大きくなり、さらに位相も進相特性を示すようになる。すなわち、磁気軸受の制御回路を微分要素で構成することで、低周波領域でのゲイン曲線を改善できると同時に、位相も進むために、ラジアル磁気軸受101の制御性能は大幅に向上する。

【0050】図7および図8は $G_2(s)$ を比例要素と微分要素の両方で構成した場合の F_a から x までの伝達関数を示す。

【0051】図7では、実線aは比較のために微分要素を含まない場合を示し、モータ104の影響を含みさらに $G_2(s) = (k+k_m)$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/Ms^2$)である。実線bはモータの影響を含みさらに $G_2(s) = (cs+k+k_m)$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2+cs)$)である。

【0052】この微分要素を入れることで、低周波側のゲイン曲線の勾配は小さくなるが、低周波領域の位相を進めることができる。すなわち、ラジアル磁気軸受の制御回路を比例要素と微分要素とで構成することで、低周波領域のゲイン曲線を改善できると同時に、位相も進むためにラジアル磁気軸受101の制御性能が大幅に向上する。

【0053】さらに、図8において、実線aはモータ104の影響を含みさらに $G_2(s) = ke$ 、 $ke > (k+k_m)$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2-k-k_m+ke)$)であり、実線bはモータ104の影響を含みさらに $G_2(s) = cs+ke$ 、 $ke > (k+k_m)$ の場合の伝達関数($P_1(s) = 1/(Ms^2+cs-k-k_m+ke)$)を示す。

【0054】図8の実線aではそのゲイン曲線に極大をもつが、微分要素を入れることにより、その特性は改善されると同時に位相も進ませることができる。すなわち、ラジアル磁気軸受102の制御回路で、磁気軸受のもつ負のばね定数とモータ104のもつ負のばね定数を加算した値以上の比例定数 ke で構成した条件においても、微分要素を追加することで、そのゲイン曲線に現われるピークを抑制でき、さらに進相特性を得ることができ、ラジアル磁気軸受101の制御性能を大幅に向上できる。

【0055】ここで、これまでモータ104のばね要素

は一定として扱ってきたが、実際にはモータ回転数やモータ電流によって変化する。図1では回転軸の端に回転センサ21が設けられ、この回転センサ21は磁気式センサで構成され、対向する回転軸面に切欠き22を形成することで回転軸2の回転数を測定できる。この測定した回転数によってラジアル磁気軸受102の制御回路の伝達関数 $G2(s)$ を変更することにより、常に最適な制御を行なうことができる。

【0056】一般に、回転数が高くなるに従ってモータ104の負のばね定数 k_m は大きくなるため、 $G2(s)$ の比例ゲインは大きくする方が好ましい。また、モータ電流値も大きくなるに従ってモータ104の負のばね定数は増加する。モニタしたモータ104の電流値によってラジアル磁気軸受102の制御回路の伝達関数 $G2(s)$ を変更することにより、常に最適な制御を行なうことができる。いずれも伝達関数 $G2(s)$ の変更は回転数もしくはモータ電流値によって連続的に変更してもよいし、数段階に変更する方法であってもよい。

【0057】このように、回転数やモータ電流値によって制御を変更するためには、その制御手段としてCPUやDSPを利用したソフトウェア制御を利用するのが好ましい。

【0058】さらに、この回転軸2は長尺であるために、その各ラジアル磁気軸受101、102、103の電磁石に対向する面および各位置センサ6、7、13に対向する面の同軸度を確保することが難しい。このため、回転軸支持の基本となるラジアル磁気軸受101とラジアル磁気軸受103で支持して回転軸2を回転させた場合、ラジアル磁気軸受102の回転軸部分では回転同期もしくはその整数倍の周期で振れ回りが発生する可能性が大きい。この状態でラジアル磁気軸受102を制御すれば、その制御力はラジアル磁気軸受101およびラジアル磁気軸受103に対し、外乱となる可能性が大きく、安定した回転を得ることができない。そこで、このラジアル磁気軸受102において回転同期成分もしくはその高次成分を選択除去することで、安定した回転および磁気軸受支持性能を得ることができる。

【0059】ここで、回転同期成分もしくはその高次成分を選択除去する方法は問わないが、スイッチドキャパシタフィルタを用いた方法や前述のソフトウェア制御にこれを盛り込む方法であってもよい。

【0060】図1ではラジアル磁気軸受102の制御回路を比例要素と微分要素で構成したが、ラジアル磁気軸受101の制御回路を比例要素と微分要素で構成し、ラジアル磁気軸受102に積分要素を含んだ指令値と偏差の小さい定位置制御を行ない、回転軸2を支持するようにしてもよい。この場合、保護軸受11、15が必須となる。

【0061】このように、ラジアル磁気軸受を3個配置することによって、わずかに磁気軸受およびモータ10

4を内蔵するハウジング200のサイズが大きく、またその出力が大きくなる。その結果、回転軸の着脱のためにハウジング200をチャンバ1から取外すことが困難となり、ハウジング200を取外すことなく回転軸2の着脱が可能となる構造が図1および図2の実施形態では盛り込まれている。

【0062】すなわち、アキシアル電磁石8に対向する回転軸2には軟質磁性部材51がボルトによって回転軸2に締結されており、この軟質磁性部材51を除き、回転軸2はアキシアル電磁石8側から永久磁石14側に向けて、その直径は等しいかもしくは小さくされている。そして、アキシアル電磁石8および第1の保護軸受11もしくは第1の保護軸受11を固定している保護軸受ハウジング50をハウジング200から外し、さらにファン3を回転軸2から外すことで、回転軸2をチャンバ1からハウジング30を外さない状態でチャンバ1およびハウジング200の外部に取出すことができる。

【0063】さらに、図1および図2に示した実施形態では、チャンバ1内の腐食性レーザガスによる磁気軸受やモータのダメージについての対策については盛り込んでいないが、特開平11-087810号公報で示されているように、回転軸2のまわりをキャンで覆うことで、腐食性レーザガスに対する保護を行なうようにしてもよい。

【0064】さらに、上述の説明では、モータの影響を補償する方法について説明したが、モータロータ17とモータステータ10との間の吸引力が発生しない渦電流モータを用い、モータの影響自体をなくすようにしてもよい。

【0065】さらに、ラジアル磁気軸受を3個配置したことによって、ラジアル電磁石のコイル巻線作業が増加してしまい、コスト高となってしまう。エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンの場合、回転軸2の自重は大きく、ラジアル磁気軸受101、102、103のコイルには自重の支持方向には電流が流れるが、その反対方向には流れない。また、その自重が大きいため、自重を駆使する電磁石コイル電流が大きく、発熱などの問題も生じる。

【0066】そこで、この電磁石コイルの発熱を低減し、さらにこのコイル巻工数を低減するための手法として、各電磁石の配置と各ラジアル電磁石の総コイル巻数の低減方法によるラジアル磁気軸受を3個使用した場合にもコイル巻の工数を増加させない方法について説明する。

【0067】図9～図11はラジアル磁気軸受の電磁石断面図である。図9は円周方向に8極の磁極をもち近接する2極の磁極によって回転軸2の電磁力を発生させるものであり、図10は円周方向に4極の磁極と軸方向に各2極の磁極を持たせ軸方向に近接する2つの磁極セットで回転軸2に電磁力を作用させる。図11は図10の

線A-Aおよび線C-Cに沿う断面図である。

【0068】図10においてA方向とB方向は自重を支持できるように配置することで、具体的には各ラジアル磁気軸受のラジアル電磁石の制御軸方向は、反鉛直方向を基準に $45^{\circ} \pm 22.5^{\circ}$ 以内とすることで、1つの制御軸の電磁石コイルへの電流の集中を抑制し、発熱を低減できる。さらに、回転軸の自重の支持しない磁極にはコイルを巻かなくても済む。これにより、コイル巻の工数を低減できる。

【0069】図12および図13はラジアル磁気軸受の電磁石の他の例を示す。図12は円周方向に4極の磁極をもち近接する2極の磁極によって回転軸2に電磁力を発生させるものであり、図13は円周方向に2極の磁極と軸方向に各2極の磁極をもたせて軸方向に近接する2つの磁極のセットで回転軸に電磁力を作用させるものであり、各磁極の中心はすべて水平面より上方にあるように配置してもよい。

【0070】今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0071】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、回転軸の両端に第1および第2のラジアル磁気軸受を配置し、さらにモータの近傍に第3のラジアル磁気軸受を設け、第3のラジアル磁気軸受によってモータのもつ負のばね要素を補正するようにしたので、モータ駆動時の磁気軸受のゲインを上げずに安定して磁気軸受制御が可能となる。

【図面の簡単な説明】

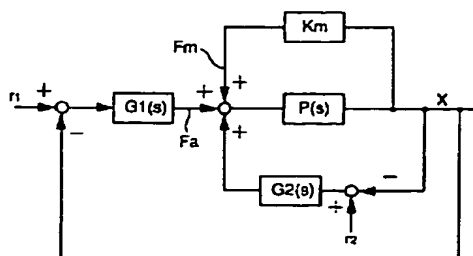
【図1】 この発明の一実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦断面図である。

【図2】 この発明の他の実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦断面図である。

【図3】 ラジアル磁気軸受とモータの模式図である。

【図4】 ラジアル磁気軸受とモータを含む回転軸の制御系ブロック図である。

【図4】



【図5】 $G2(s)$ を比例要素のみで構成した場合の Fa から x までの伝達関数を示す図である。

【図6】 $G2(s)$ を微分要素のみで構成した場合の Fa から x までの伝達関数を示す図である。

【図7】 $G2(s)$ を比例要素と微分要素の両方で構成した場合の Fa から x までの伝達関数を示す図である。

【図8】 $G2(s)$ を比例要素と微分要素の両方で構成した場合の Fa から x までの伝達関数を示す図である。

【図9】 円周方向に8極の磁極を持つラジアル磁気軸受の電磁石断面図である。

【図10】 円周方向に4極の磁極と軸方向に各2極の磁極を持つラジアル磁気軸受の電磁石断面図である。

【図11】 図10の線A-Aおよび線C-Cに沿う断面図である。

【図12】 円周方向に4極の磁極をもち近接する2極の磁極によって回転軸に電磁力を発生させるラジアル磁気軸受の電磁石を示す図である。

【図13】 円周方向に2極の磁極と軸方向に各2極の磁極をもつラジアル磁気軸受の電磁石を示す図である。

【図14】 従来のエキシマガスを循環させるファンおよびその周辺部の断面図である。

【図15】 ラジアル磁気軸受部付近の構造を示す図である。

【図16】 図15に示したモータの影響を説明するための磁気軸受制御系のブロック図である。

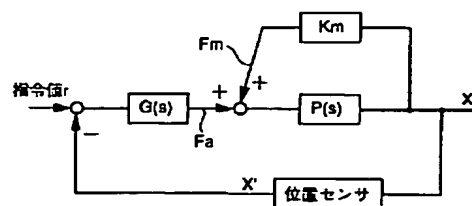
【図17】 モータ駆動時と非モータ駆動時の磁気軸受の制御対象のボード線図のゲイン曲線を示す図である。

【図18】 磁気軸受制御回路を設計した場合の開ループ伝達関数を示す図である。

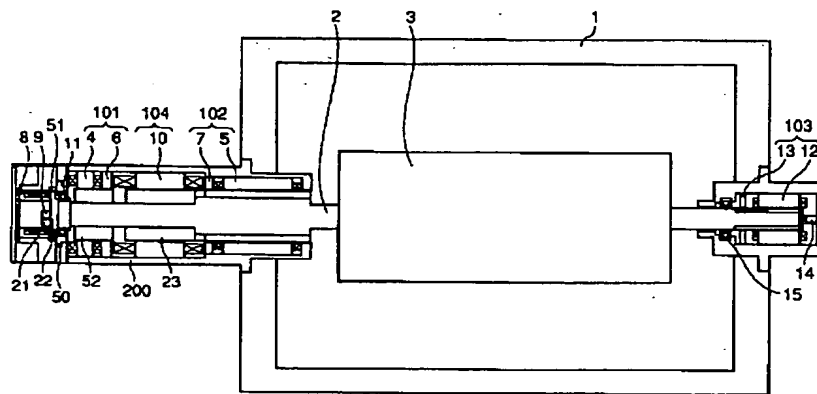
【符号の説明】

1 チャンバ、2 回転軸、3 ファン、4, 5, 12 ラジアル電磁石、6, 7, 9, 13 位置センサ、8 アキシアル電磁石、10 モータステータ、14 永久磁石、11, 15, 16 保護軸受、21 回転センサ、22 切欠、23 モータロータ、51, 52, 53 軟質磁性部材、200 ハウジング、101, 102, 103 ラジアル磁気軸受、104 モータ。

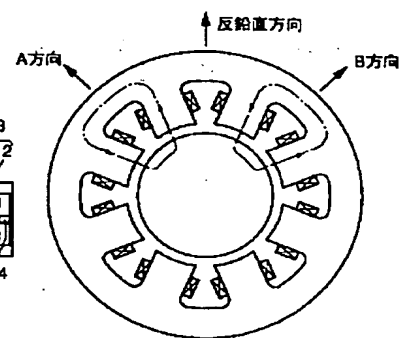
【図16】



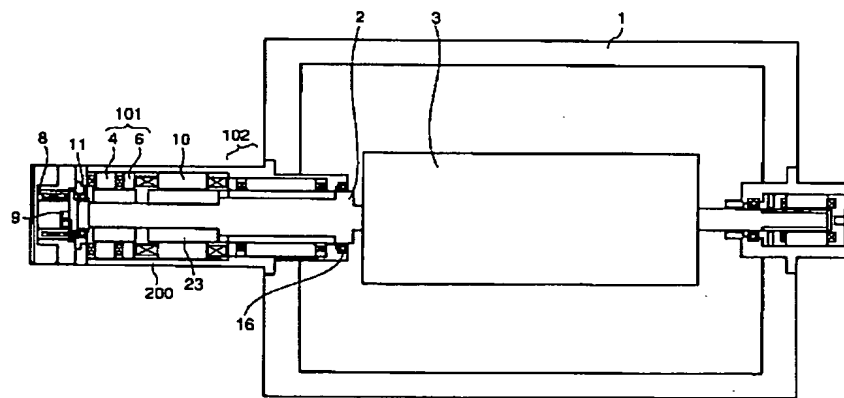
【図1】



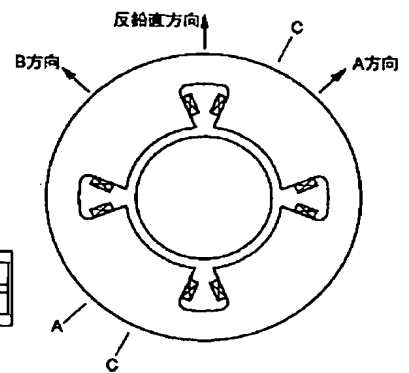
【図9】



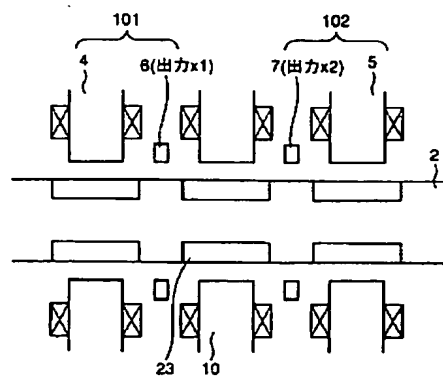
【図2】



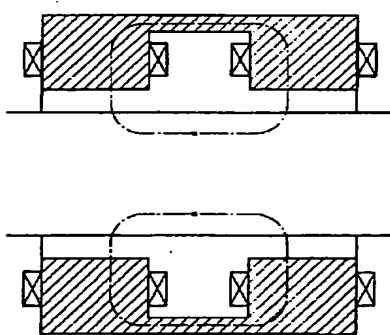
【図10】



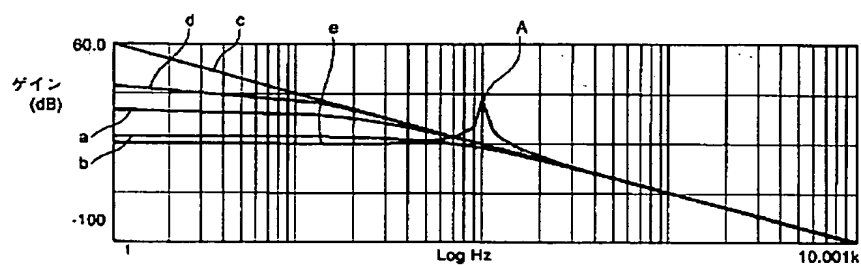
【図3】



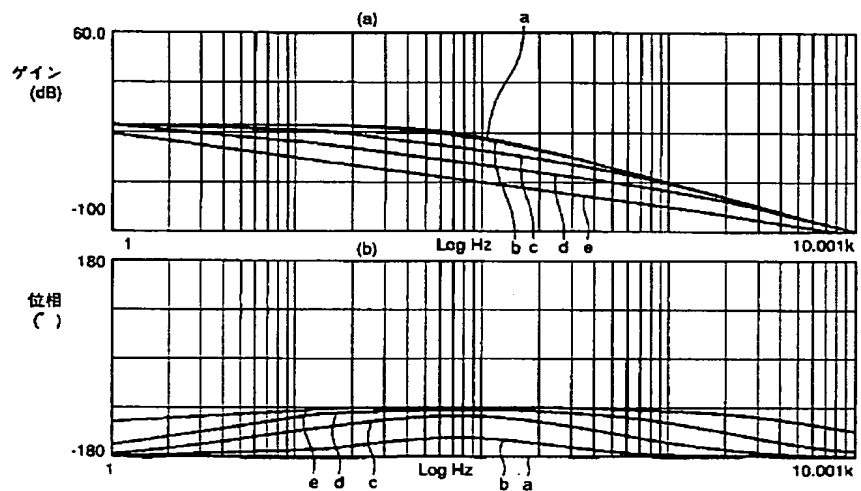
【図11】



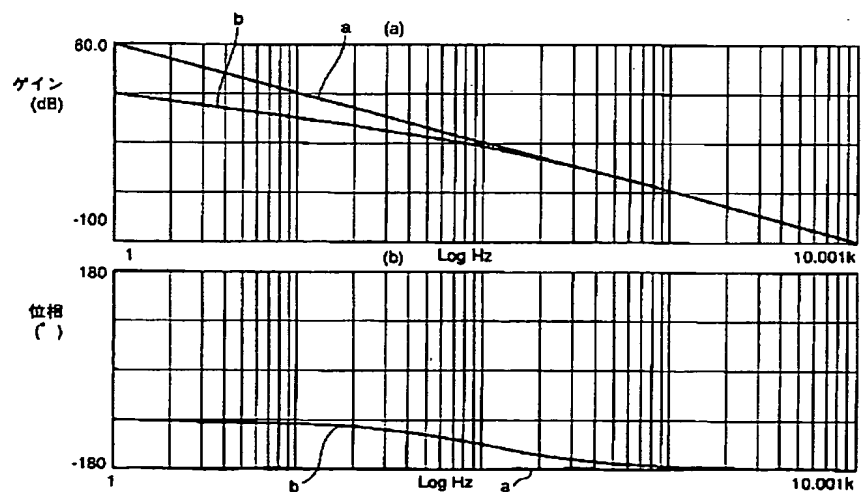
【図5】



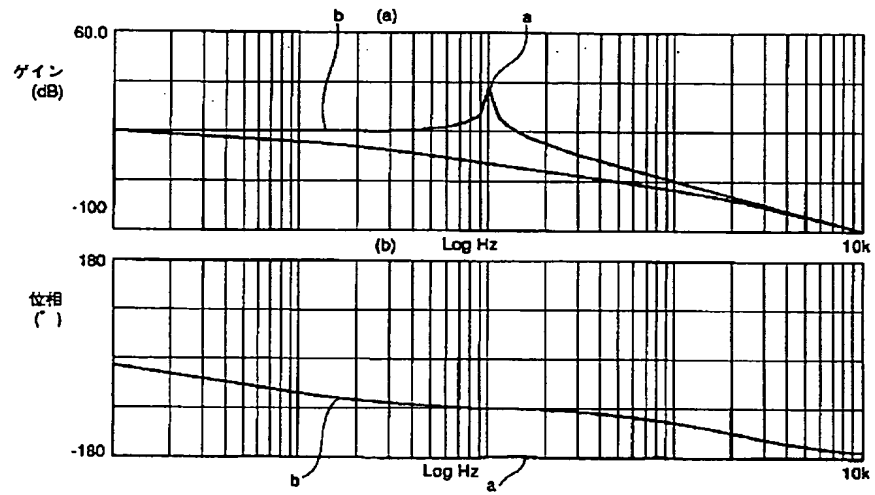
【図6】



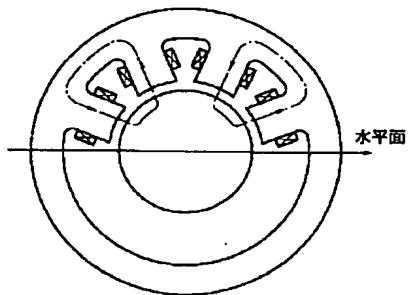
【図7】



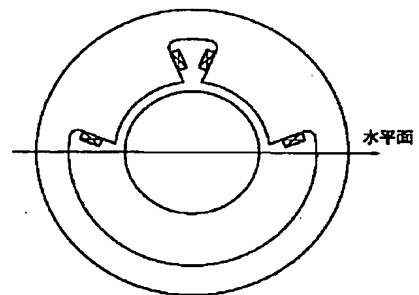
【図8】



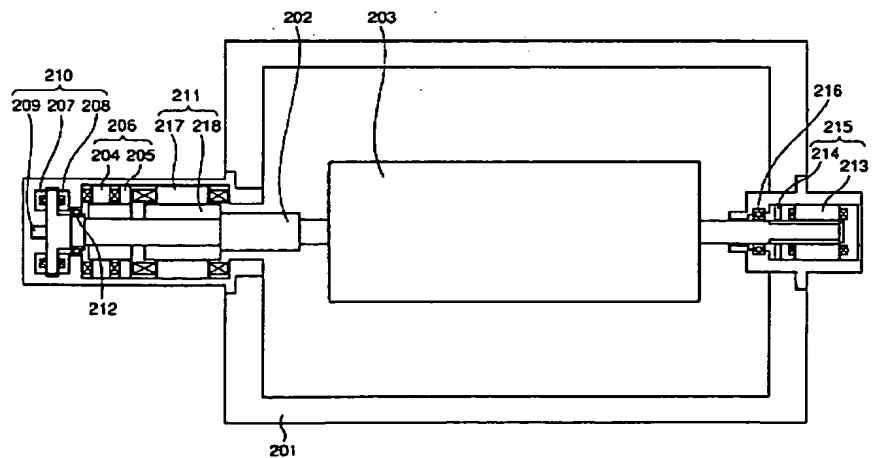
【図12】



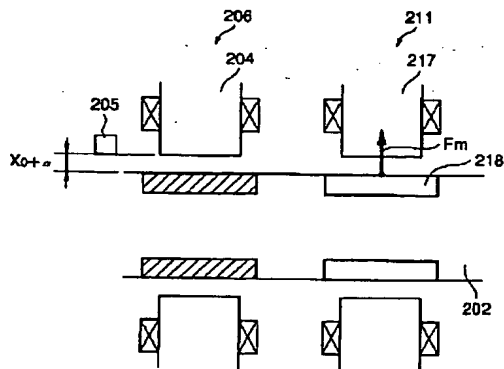
【図13】



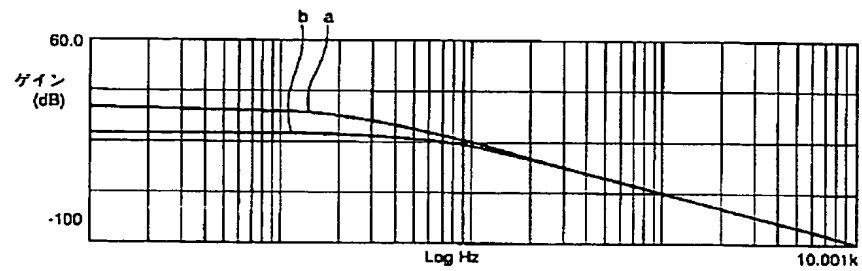
【図14】



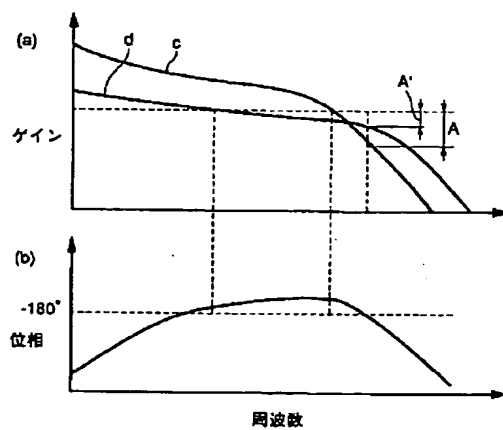
【図15】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 徳永 寛哲
静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエ
ヌ株式会社内

(72)発明者 山田 耕嗣
静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエ
ヌ株式会社内

(13) 月2002-89489 (P2002-894JL

Fターム(参考) 3H022 AA02 BA06 CA16 CA19 DA09
DA11 DA13
3H031 AA11 BA05
3J102 AA01 BA03 BA19 CA10 CA14
DA02 DA03 DA09 DB05 DB10
DB11 GA20